



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

**ŘÍDICÍ JEDNOTKA PRO MONITOROVÁNÍ KLIMATICKÝCH
PODMÍNEK U CHOVU JEDLÉHO HMYZU**

CONTROL UNIT FOR MONITORING OF CLIMATIC CONDITIONS IN THE BREEDING OF EDIBLE INSECTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vít Chmelař

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Adámek, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Vít Chmelař

ID: 174316

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Řídicí jednotka pro monitorování klimatických podmínek u chovu jedlého hmyzu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou monitorování klimatických podmínek při chovu jedlého hmyzu pomocí mikrokontroleru Atmel ATmega 2560. Nastudujte programování tohoto procesoru.

Navrhněte, realizujte a otestujte řídicí jednotku pro experimentální monitorování specifických klimatických podmínek (teplota, vlhkost, osvětlení, koncentrace CO₂ a NH₃) u chovu jedlého hmyzu. Pro řízení použijte mikrokontroler Atmel ATmega 2560. Nastudujte a vyzkoušejte možnost zpracování dat pomocí tabulkového procesoru. Zhodnoťte možnosti realizovaného zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Martin Adámek, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce seznamuje s problematikou jedlého hmyzu, platformou Arduino, senzory a periferiemi, které budou využity pro sestavení zařízení monitorující klimatické podmínky při chovu hmyzu. Popisuje jednotlivé druhy senzorů a jejich principy. Práce rozebírá jednotlivé druhy komunikace SPI a I²C, které se využívají v přístroji pro měření klimatických podmínek při chovu hmyzu. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny na displeji a ukládány na paměťovou kartu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hmyz, senzory, Arduino, SD karta, Atmel, teplota, vlhkost

ABSTRACT

This bachelor thesis introduces the problematics of edible insects, Arduino platform, sensors and peripherals that will be used to construct a device which monitors conditions of breeding of insects. It describes the different type of sensors and their principles. It discusses the SPI and I²C communication, which is used for communication with peripherals and describes the selected sensors and peripherals with which will be builded the device. Measured values are displayed on devici and savet to memory card.

KEYWORDS

Insect, sensors, Arduino, SD card, Atmel, temperature, humidity

CHMELÁŘ, V. *Řídicí jednotka pro monitorování klimatických podmínek u chovu jedlého hmyzu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2017. 40 s., 4 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Martin Adámek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma *Řídící jednotka pro monitorování klimatických podmínek u chovu jedlého hmyzu* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce ing. Martinovi Adámkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

OBSAH

Úvod	8
1 Monitorování klimatických podmínek	9
1.1 Bioklimatologie	9
1.2 Mikroklima a mikroklimatické faktory.....	9
2 Entomofágie	11
3 Mikroprocesory ATmega	13
3.1 Mikroprocesor ATmega2560.....	13
3.2 Vývojová platforma Arduino.....	14
3.3 Programování vývojové platformy Arduino.....	15
3.4 Komunikační sběrnice	16
3.4.1 UART.....	16
3.4.2 SPI.....	16
3.4.3 I ² C	18
4 Snímání neelektrických veličin	19
4.1.1 Teplotní senzory	19
4.1.2 Snímače vlhkosti.....	19
4.1.3 Snímače osvětlení	20
4.1.4 Snímače plynů.....	20
5 Návrh jednotky pro monitorování klimatických podmínek při chovu jedlého hmyzu	21
5.1 Komerčně dostupné datalogery	21
5.2 Požadavky návrhu.....	21
5.3 Blokové schéma zařízení	22
5.4 Senzor teploty a vlhkosti Bosch BME280	23
5.5 Měření osvětlení pomocí TAOS TSL2561	24
5.6 Obvod reálného času DS3231.....	25
5.7 Plynové senzory	26
5.8 SD karta	27
5.9 Dotykový display.....	28
5.10 Popis konstrukce	28

6	Programové vybavení	30
6.1	Programové vybavení měřicí jednotky	30
6.2	Zpracování naměřených dat.....	31
7	Závěr	33
	Literatura	34
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	37
	Seznam obrázků	38
	Seznam tabulek	39
	Seznam příloh	40
A	Návrh zařízení	41
A.1	Obvodové zapojení řídicího modulu.....	41
A.2	Deska plošného spoje řídicího modulu – top (strana součástek)	41
A.3	Deska plošného spoje řídicího modulu – bottom (strana spojů).....	42
A.4	Osazovací plán desky řídicího modulu	42
A.5	Obvodové zapojení sensorového modulu teploty, vlhkosti a osvětlení..	43
A.6	Deska plošného spoje sensorového modulu teploty, vlhkosti a osvětlení – bottom (strana spojů)	43
A.7	Obvodové zapojení sensorového modulu plynů.....	43
A.8	Deska plošného spoje sensorového modulu plynů – bottom (strana spojů) 44	
A.9	Osazovací plán sensorového modulu plynů	44
B	Seznam součástek	45

ÚVOD

V dnešní době alternativních způsobu stravování a vyhledávání kulinářských specialit se i v Evropě začíná hovořit o konzumaci hmyzu. V Evropě jde o něco netypického a exotického, ve zbytku světa se hmyz běžně konzumuje a je vyhledáván nejen jako snadno dostupný zdroj bílkovin, ale i jako delikatesa a zpestření jídelníčku.

Při chovu hmyzu je vhodné monitorovat klimatické podmínky a případně je regulovat pro garanci stále stejné jakosti hmyzu. Cílem práce je návrh a realizace zařízení, které bude levné, jednoduché na obsluhu a schopné tyto podmínky zaznamenat, aby se poté daly vyhodnotit a na jejich základě například zasáhnout do chovu.

Pro monitorování podmínek se mohou použít komerčně prodávané datalogery, s vhodnými senzory pro dané zaměření. Zásadní nevýhodou komerčně dostupných dataloggerů je horší přizpůsobení na specifické podmínky při zachování nízké ceny. Další možností je konstrukce zařízení na míru přímo pro dané podmínky, takové zařízení je sestrojeno v rámci bakalářské práce. Využívá mikroprocesor Atmel ATmega 2560. Zařízení umožňuje měření teploty, vlhkosti, intenzity osvětlení a koncentrace plynů a pozdější zpracování naměřených hodnot uložených na paměťovou kartu při zachování příznivé ceny.

V práci je přiblížena problematika monitorování klimatických podmínek při chovu zvířat, problematika a výhody konzumace jedlého hmyzu. Jsou zde rozebrány mikroprocesory od f. Atmel a vývojového kitu Arduino, dále jsou zde popsány principy senzorů, komunikačních sběrnic a paměťové karty Secure Digital. Následně je již řešen samotný návrh přístroje, výběr jednotlivých komponentů a programové vybavení mikroprocesoru.

1 MONITOROVÁNÍ KLIMATICKÝCH PODMÍNEK

V klimatických podmínkách panujících u nás je nejrozšířenějším způsobem ustájení zvířat v uzavřeném prostoru, který je obklopuje [1]. Vlivem podmínek venkovního klimatu, životních pochodů zvířat, technologických procesů a působením další řady fyzikálních, chemických a biologických procesů v tomto uzavřeném prostředí vzniká specifické prostředí, které ovlivňuje přímým i nepřímým způsobem organismus chovaných zvířat.

1.1 Bioklimatologie

Pod tímto slovem se ukrývá obor studující vlivy prostředí na životní procesy v živých organismech. Vlivy prostředí rozumíme zejména meteorologické vlivy a klimatické podmínky a jejich dopad na člověka, zvěř a rostliny.

V závislosti na rozsahu sledovaného prostředí rozlišujeme tyto základní pojmy:

- Makroklima
 - Klima velkého území či geografického celku (stát, kontinent či jejich části)
- Místní klima
 - Přejít mezi makro a mikroklimatem (les, pastviny)
- Mikroklima
 - Klima malého území
 - Klima v uzavřených objektech (stáj, skleník, terárium)

1.2 Mikroklima a mikroklimatické faktory

Mikroklimatem rozumíme ovzduší v uzavřeném prostoru stáje (terária). Mikroklima představuje základní existenční a výrobní faktor v chovu zvířat. Velkou roli v něm sehrává i složení stájového vzduchu. Zatímco chemické složení atmosférického vzduchu je prakticky stejné po celé zeměkouli, chemické složení vzduchu v chovném prostředí se případ od případu liší. Změny jsou způsobovány jak vzduchem vydechovaným zvířaty, tak biochemickými pochody v podestýlce. Mikroklima je ve stájích tvořeno komplexním působením řady faktorů, které můžeme v závislosti na jejich charakteristice rozdělit do dvou základních skupin:

- Faktory abiotické
 - Fyzikální faktory: teplota a vlhkost vzduchu, sluneční záření, přirozené a umělé osvětlení ve stájích, barometrický tlak a hluk

- Chemické faktory: chemické složení vzduchu – zejména s ohledem na koncentrace toxických plynů – čpavku, oxidu uhličitého
- Faktory biotické
 - Biologické faktory: prašnost a mikrobiologické znečištění

Hlavním přínosem systematického měření mikroklimatických podmínek pro chovatele je shromáždění objektivně naměřených dat, popisující dané prostředí a životní podmínky chovaných zvířat a možnost jejich porovnání s doporučenými hodnotami, pomocí čehož lze odhalit případné problémy se zdravotním stavem zvířat.

Největší význam pro chovaná zvířata má tepelně vlhkostní režim charakterizovaný vnitřní teplotou a vlhkostí vzduchu a teplotou vnitřních povrchů spolu s prouděním vzduchu. Teplotu vzduchu považujeme za nadřazený faktor stájového mikroklimatu, protože ovlivňuje další parametry jako vlhkost a proudění vzduchu. Vysoká vzdušná vlhkost spolu s teplotou ovlivňuje termoregulaci zvířat, což při zanedbání kontroly může vést k teplotním šokům zvířat.

Vzduch obsažený ve sledovaném objektu (stáj, terárium) je vždy odlišný od vzduchu venkovního. Obsahuje více vodní páry a CO_2 . V některých objektech může být dle druhu chovaných zvířat i zvýšená koncentrace amoniaků a sirovodíku. Složení vzduchu v objektu závisí zejména na celkovém počtu zvířat, ploše objektu a také kvalitě a intenzitě větrání.

Oxid uhličitý (CO_2) je běžnou složkou vzduchu v mikroklimatických podmínkách, jeho koncentrace se běžně pohybuje mezi 0,1 až 0,3 % objemových, což je přibližně desetkrát více než ve volné atmosféře. Ve špatně větraných prostorách může koncentrace být i vyšší, což již může neblaze ovlivňovat chovaná zvířata. Díky CO_2 lze dobře odhadovat kvalitu vnitřního vzduchu a v případě vyšších hodnot CO_2 zajistit lepší větrání.

Amoniak (NH_3) vzniká rozkladem organických materiálů, zejména bílkovin. Suchozemští živočichové vylučují nadbytek dusíku ve formě močoviny (sloučenina amoniaku a oxidu uhličitého), ta se poté důsledkem mikrobiálních reakcí snadno rozpadá a uvolňuje amoniak. Amoniak lze poznat podle jeho charakteristického zápachu.

2 ENTOMOFÁGIE

Pojem entomofágie znamená využívání hmyzu jako potravin [2]. Největší konzumace hmyzu je v Africe, Asii a Latinské Americe. V dnešní době známe více než 2000 jedlých druhů hmyzu. Nejčastěji konzumovaným hmyzem jsou larvy brouků, housenky, včely, vosy a mravenci. V evropských zemích je spotřeba hmyzu velmi nízká. Hlavní příčinou je nejspíše nízká informovanost a představa, že hmyz je nehygienická potrava. V poslední době se však i v Evropě toto odvětví rozrůstá a zvyšuje se zájem o tuto oblast. Pro konzumaci hmyzu jsou výhodné jeho vhodné nutriční hodnoty, jde o významný zdroj proteinů a tuků a přítomnost vitamínů a minerálů. Chemické složení je závislé na mnoha faktorech, jak na druhu hmyzu, tak i například závislost na pohlaví, stupni metamorfózy, původu hmyzu a jeho potravě.

Je zde několik důvodů, proč je zajímavé konzumovat hmyz, poskytuje potřebné nutriční hodnoty, např. kobylinky jsou srovnatelné s hovězím masem, chov hmyzu je také ekologičtějším oproti chovu tradičních masných zvířat. Hmyz se vyznačuje vyšší efektivitou přeměny přijímané potravy na živou hmotu než běžná masa. Hmyz se také reprodukuje mnohem rychleji než dobytek, samice cvrčka může snést 1200 až 1500 vajíček během 3-4 týdnů, efektivita chovu poté může být až 20x vyšší než v případě dobytka. Hmyz potřebuje mnohem méně prostoru, krmiva i vody než dobytek a drůbež. Na rozdíl od jiných živočichů, kde může tvořit až 40% živé hmotnosti nevyužitelný odpad, lze ve většině případů hmyz konzumovat celý. Při jeho chovu také vzniká méně skleníkových plynů. Jsou také bohatým zdrojem stopových prvků Ca, Mg, Zn, Fe a vitamínů. Při porovnání cvrčka a hovězího dobytka je potřeba dvanáctkrát méně krmiva, patnáctkrát méně úrodné půdy a 2000krát méně vody a vytvoří se stokrát méně skleníkových plynů [3].

Nutriční hodnoty jedlého hmyzu jsou velmi závislé na konkrétních druzích hmyzu, známe více než dva tisíce druhů jedlého hmyzu. I v rámci jedné skupiny hmyzu se mohou nutriční hodnoty velmi lišit v závislosti na stupni metamorfózy, další kritéria ovlivňující nutriční hodnoty jsou zejména místo chovu a strava. Tak jako i jiné potraviny, mění hmyz své nutriční hodnoty vlivem přípravy a zpracováním před konzumací. Většina hmyzu poskytuje dostatečné množství aminokyselin pro člověka [3].

Hmyz určený pro lidskou spotřebu je nutné si přichystat. Hmyz musíme před vlastní konzumací krmit kvalitními surovinami, protože nevíme, čím byl dosud krmen. Jako krmivo můžeme použít například jablka či kousky chleba. Takto připravený hmyz poté necháme dva až tři dny hladovět a můžeme ho dále zpracovávat.

Tato práce je zaměřena na monitorování chovných podmínek brouků z čeledi potěmnikovitých (*Tenebrionidae*). Běžně se chovají tři druhy z čeledi potěmníků, jde o potěmníka moučného (*Tenebrio molitor*), potěmníka brazilského (*Zophobas morio*) a potěmníka stájového (*Alphitobius diaperinus*). V dospělosti se jedná o černé brouky dosahující velikosti 0,7 cm u potěmníka stájového a zhruba 1,5 cm u potěmníka moučného. Potěmník brazilský, třetí největší z nich, dosahuje velikosti až 2,5 cm [4]. Lze je zařadit mezi všežravce, živí se rostlinnými a živočišnými zbytky. Larvy těchto brouků dosahují před zakuklením velikostí 1,5 cm u potěmníka stájového, velikosti

2,5 cm dosahuje larva potemníka moučného a největší, potemník brazilský je velký 4,5 cm. Ke konzumaci jsou nejvhodnější larvy.

Chov těchto brouků je relativně nenáročný, lze je chovat ve skleněných nebo plastových nádobách, do kterých umístíme na dno vrstvu krmného substrátu. Ten může mít různé složení. Používají se prakticky všechny obilniny ve šrotované podobě či vločkové podobě, strouhanka, rybí moučka. Také je vhodné doplňovat jídelníček brouků a larev kousky ovoce nebo zeleniny. Při chovu je nutné udržovat vhodnou teplotu, která je např. u potemníka moučného 22 °C. Dále se musí též dobře větrat, protože za vysoké vlhkosti hrozí zamoření chovu roztoči [5].

3 MIKROPROCESORY ATMEGA

Základem celého obvodu je mikrokontrolér, který zpracovává data ze všech částí obvodů a zajišťuje jejich vzájemnou spolupráci. Požadavky kladené na něj v tomto případě jsou:

- alespoň 2 kanály A/D převodníku pro plynové senzory
- alespoň 1x UART
- podpora sběrnic I²C a SPI
- dostatek paměti FLASH pro program

Tyto parametry splňují takřka všechny mikrokontroléry od všech významných výrobců, od f. Atmel např. řada ATmega, alternativou od dalších výrobců např. od firmy Microchip řada PIC24. Jako řídicí mikroprocesor byl zvolen 8bitový mikroprocesor od firmy Atmel, řady ATmega. Tato platforma byla zvolena zejména díky předchozím zkušenostem s těmito mikroprocesory. Vybrán byl mikroprocesor ATmega2560, splňuje všechny kladené požadavky a je vybaven 256 kB programové paměti, která by měla být dostatečná i v případě použití grafického displeje. Tento mikroprocesor je také obsažen ve vývojovém kitu Arduino MEGA, pro zrychlení a zjednodušení vývoje jsem poté začal používat tento vývojový kit.

3.1 Mikroprocesor ATmega2560

Obvody řady ATmega od firmy Atmel jsou všeobecně známé a rozšířené, proto je zde uveden pouze stručný přehled vybraných vlastností a funkcí, které obsahují.

- jsou založeny na architektuře RISC s 8bitovou délkou slova
- maximální hodinový kmitočet může být až 16 MHz
- jsou vybaveny periferiemi jako A/D převodník, PWM, USART, 8/16-ti bytové čítače/časovače, SPI a TWI sběrnicí
- podporují mody nízké spotřeby a přerušení
- programovat je lze pomocí mnoha freewarových nástrojů

ATmega2560 je vybavena 256 kB FLASH paměti, 4 kB EEPROM a 8kB SRAM. Je vybaven 86 vstupně/výstupními piny v pouzdře TQFP-100, obsahuje 16 kanálů 10 bitového A/D převodníku, 12 PWM kanálů s programovatelným rozlišením 2 až 16 bitů, dvěma 8bitovými časovači/čítači, čtyřmi 16bitovými čítači/časovači, čtyřmi rozhraními USART, sběrnicí SPI podporující jak Master tak Slave režim, TWI sběrnicí a další [6].

3.2 Vývojová platforma Arduino

Arduino je vývojová platforma, která vznikla v Itálii ve městě Ivrea v roce 2005. Zakladatelé projektu Massimo Banzi a David Cuartielles pojmenovali projekt po Arduinovi Ivrejském, významné historické postavě města. Jejich cílem bylo vytvořit jednoduchou platformu, která umožní rychlý vývoj a jednoduché používání [7]. Projekt je již od začátku volně dostupný (open-source), dokumentace a referenční příručka jazyka a externích knihoven je pak většinou vydávána pod licencí Creative Commons. Projekt zaznamenal velký úspěch a byl velmi dobře přijat komunitou, která Arduino dále rozvíjí. Desky Arduino obsahují zejména 8bitové mikroprocesory z rodiny AVR od firmy Atmel. Z mikroprocesoru je většina I/O pinů vyvedena na konektory pro připojení dalších periférií. Standardem se staly tzv. shiedly, jde o moduly, které se nasouvají na desku arduina a obsahují rozšiřující periférie např. Wifi, LCD display aj. Z podpůrných obvodů na desce nalezneme LED signalizující napájení a komunikaci po sériové lince, konektor ICSP pro programování, napájecí konektor, oscilátor, resetovací tlačítko a obvod zajišťující komunikaci přes USB sběrnici viz Obr. 1. Mikroprocesor, který je uživatelsky programovatelný má ve své paměti nahraný zavaděč který umožňuje programování procesoru i přes UART a tím zjednodušuje programování.



Obr. 1 Arduino Uno převzato z [8]

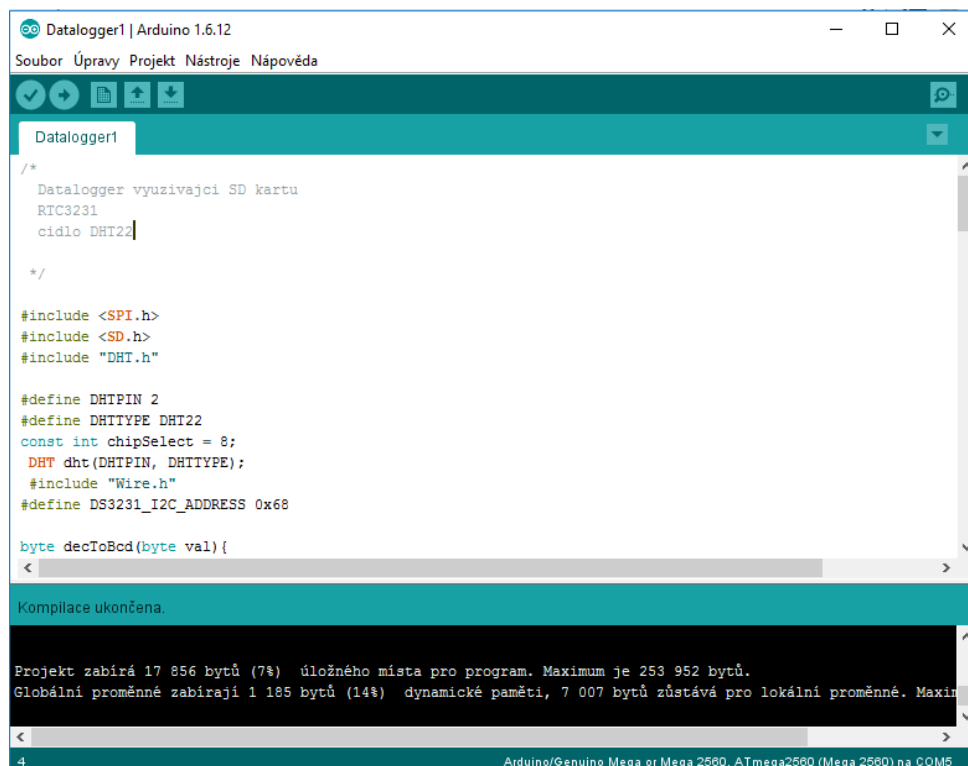
Je vyráběno více verzí Arduino desek, liší se navzájem zejména v počtu I/O pinů, velikosti FLASH a RAM paměti a fyzickými rozměry, rozdíly lze vidět v Tab. 1.

Tab. 1 Porovnání typů desek Arduino

Typ desky	Mikrokontrolér	FLASH paměť	RAM paměť	Vstupně – výstupní piny		Rozměry
				Digitální	Analogové	
Uno	Atmega328P	32 kB	2 kB	14	6	68 mm x 53 mm
Mega2560	Atmega2560	256 kB	8kB	54	16	101 mm x 53 mm
Nano	Atmega328P	32 kB	2 kB	14	8	45 mm x 18 mm
Zero	ATSAMD21G18A	256 kB	32 kB	14	6	68 mm x 30 mm

3.3 Programování vývojové platformy Arduino

Vývojové prostředí Arduino IDE je naprogramováno v jazyce Java, což zajišťuje dostupnost pro všechny běžně využívané operační systémy Windows, Linux a Mac OS X. Pro všechny tyto platformy lze vývojové prostředí stáhnout z oficiálních stránek. Oproti jiným IDE, např. programu Visual Studio je Arduino IDE značně zjednodušené a tím i přehlednější pro začátečníky. Celé prostředí se skládá pouze z jednoduchého textového editoru, nabídky základního nastavení a sériového terminálu viz Obr. 2.



Obr. 2 Arduino IDE

Dále se používá spojení s jazykem Processing, který je multiplatformní open source projekt, jenž vznikl v MIT Media Lab v roce 2001. Jde o programovací jazyk a vývojové prostředí na vytváření elektronického umění. Jeho cílem je naučit začátečníky programovat. Je založen na Javě, ale používá zjednodušenou syntaxi a jednoduché uživatelské prostředí.

Programovací jazyk používaný v Arduino IDE se nazývá Wiring, který vychází z jazyku Processing. Používá velmi podobné uživatelské prostředí, ale je doplněn o knihovny zjednodušující programování mikrokontrolérů. Oba tyto jazyky jsou jazyky velmi podobné C++, využívají podobnou syntaxi, avšak díky sadě maker zjednodušuje samotné programování např. jednodušším přístupem k I/O portům, časovačům, přerušením apod.

Každý program obsahuje 2 základní bloky, *setup()* a *loop()*. Blok programu *setup()* je vykonáván vždy pouze jednou po připojení napájení nebo resetu. V této části se provádí inicializace a deklarace proměnných. Poté program přejde do smyčky *loop()*, jde o nekonečnou smyčku, ve které se již vykonává samotný program.

Jednoduchý program, který bliká LED diodou lze napsat např. takto:

```
void setup() {
    // tato smyčka se provede jednou po spustení mikroprocesoru
    // nastaví pin 8 jako výstupní,
    pinMode(8, OUTPUT);
}

// nekonečná smyčka, obsahuje tělo programu
void loop() {
    digitalWrite(8, HIGH); //rozsvítí LED (na pinu 8 nastaví log.1)
    delay(1000);           // zpoždění 1s
    digitalWrite(8, LOW);  //vypne LED ( na pinu 8 nastaví log.0)
    delay(1000);           // zpoždění 1s
}
```

3.4 Komunikační sběrnice

Pro komunikaci externích obvodů s mikroprocesorem, a případně mikroprocesoru s počítačem je třeba zvolit vhodné způsoby komunikace, pomocí kterých spolu budou jednotlivá zařízení komunikovat. Je mnoho komunikačních protokolů, u mikroprocesoru Atmel ATmega2560, jde například o sběrnice I²C, UART a SPI.

3.4.1 UART

Jde o sériový přenos dat pomocí vodičů TxD a RxD. UART se využívá u mnoha periférií a také například pro komunikaci s počítačem. Jedná se o jednu z nejrozšířenějších komunikačních sběrnic. Vysílač i přijímač musí být nastaveny stejně.

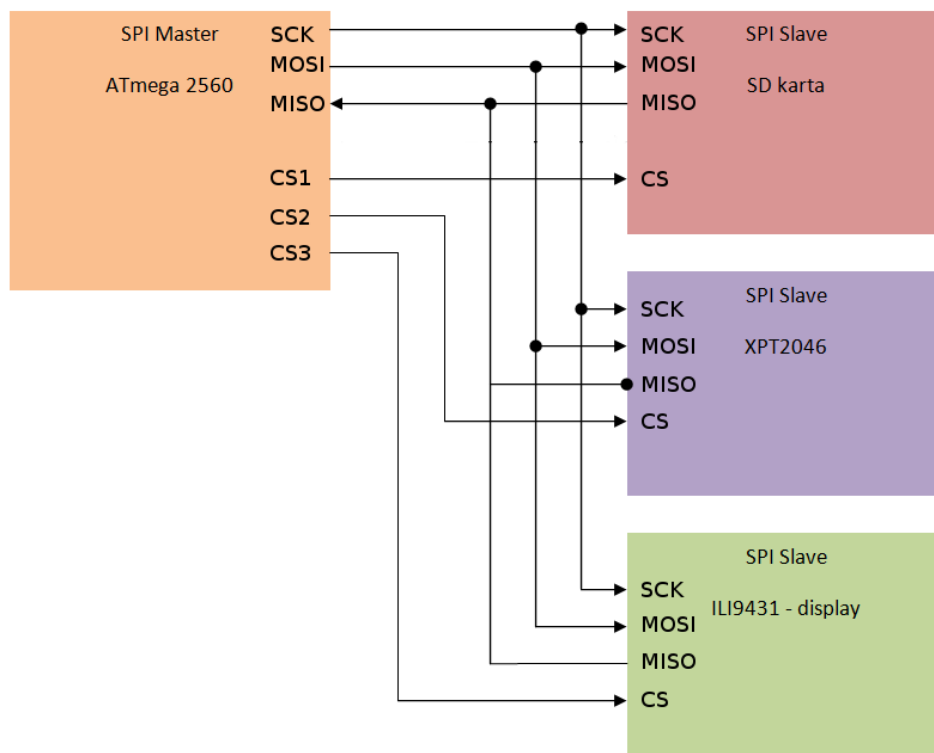
3.4.2 SPI

Sběrnice SPI představuje jeden z druhů sériových sběrnic [9], které se obvykle používají pro propojení mikroprocesoru a dalších obvodů, kterými mohou být např. paměti EEPROM, displeje, SD karta, A/D převodníky atd.

Komunikace probíhá pomocí 3 společných vodičů, viz Obr. 3, MOSI (Master In, Slave out), MISO (Master out, Slave In) a SCK (hodinový signál). Adresování probíhá pomocí pinu CS (Chip-Select). Těchto pinů bude tedy tolik, co zařízení připojených na

sběrnici. Na jedné sběrnici je právě jedno zařízení typu Master viz Obr. 3, které se stará o veškeré řízení komunikace po sběrnici. Obvykle se jedná o mikroprocesor. Zařízení typu Slave může být více a jejich správná spolupráce je zajištěna právě pomocí adresovacího pinu CS, kdy mikroprocesor nastaví pin do log. 0 toho zařízení, se kterým chce komunikovat. Ostatní zařízení se umlčí. Po dokončení s daným zařízením mikroprocesor opět nastaví příslušný pin CS do log. 1 a poté může začít komunikovat s dalším zařízením. Velkou výhodou této sběrnice je její velká jednoduchost, kdy si lze sběrnici představit jako několik posuvných registrů. Další velkou výhodou je relativně vysoká přenosová rychlost v porovnání například se sběrnici I²C. Nevýhodou je nutnost adresování pomocí pinu CS, kdy např. při využívání 3 slave zařízení nám tato komunikace zabere dohromady 6 pinů mikroprocesoru (3 datové + 3 adresovací), avšak při větším počtu slave zařízení by se toto dalo částečně eliminovat například demultiplexorem.

Tato sběrnice se využívá i pro programování mikroprocesorů, jde o tzv. ISP (In-system programming), díky čemuž lze programovat mikroprocesor uvnitř obvodu, bez potřeby vyjmutí mikroprocesoru a vkládání do speciálního programátoru.



Obr. 3 Zapojení SPI sběrnice při zapojení více slave zařízení

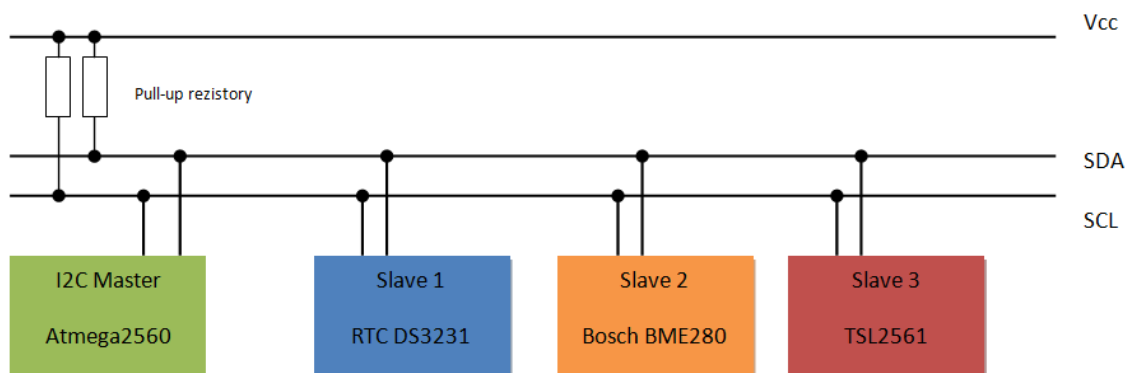
3.4.3 I²C

Jedná se o sběrnici, kterou vyvinula firma Philips. Zkratka I²C vychází z anglického Inter-Integrated Circuit [10]. Jedná se o interní sériovou datovou sběrnici, která se využívá při komunikaci v rámci jednoho zařízení.

Kvůli nárokům firmy Philips na ochrannou známku I²C se lze také setkat se zkratkou TWI (Two Wire Interface), kterou představila firma Atmel.

Sběrnici I²C lze nalézt ve výbavě mikroprocesorů, pamětí, obvodu reálného času, A/D převodníků, D/A převodníků, senzorů atd.

Podobně, jako u SPI, se jedná o protokol typu master/slave. Využívá se zde ale jiného adresování a komunikace není duplexní a proto pro komunikaci stačí pouze 2 vodiče - SDA je vodič, po kterém jsou přenášeny data a SCL je vodičem hodinového signálu viz Obr. 4. Adresování probíhá pomocí přidělené 7 bitové či 10 bitové adresy. Jelikož se jedná o sběrnici typu otevřený kolektor, musí se na vodiče SDA a SCL přidat ještě pull-up rezistory [11][12].



Obr. 4 Příklad zapojení sběrnice I²C

4 SNÍMÁNÍ NEELEKTRICKÝCH VELIČIN

V této části je řešen popis principu senzorů neelektrických veličin. Neelektrické veličiny jsou takové veličiny, které se nedají přímo vyjádřit pomocí elektrických veličin, jako je například elektrické napětí či elektrický proud. Pro měření těchto veličin je nutné využít převodníky umožňující převod neelektrické veličiny na elektrickou veličinu, která je pro nás jednodušejší zpracovatelná. Využívá se mnoho různých mechanismů, které jsou přiblíženy v následujících kapitolách.

4.1.1 Teplotní senzory

Teplotní snímače můžeme dle fyzikálního principu převodu dělit na snímače odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem, termoelektrické a jiné speciální senzory.[13]

Odporové kovové senzory pracují na principu změny odporu kovu při změně teploty, zahříváním kovů se zvětšuje amplituda kmitů atomů krystalové mřížky a ty pak kladou větší odpor průchodu elektronů. Nejčastějším materiálem využívaným pro kovové odporové senzory je platina díky své vysoké teplotě tání, chemickou netečnosti a stálostí. Dalším často využívaným materiálem je nikl, má vysokou citlivost a rychlou časovou odezvu. Nevýhodou je však značná nelinearita a menší teplotní rozsah.

Odporové polovodičové senzory také využívají závislost odporu na teplotě. Významná je u nich závislost koncentrace dominantních nosičů náboje. Polovodičové odporové senzory dělíme na termistory (pozistory a negastory) a monokrystalické odporové senzory.

Polovodičové senzory s PN přechodem využívají teplotní závislost napětí PN přechodu v propustném směru. Dělíme je na diodové, tranzistorové a monolitické integrované senzory. U monolitických integrovaných senzorů je součástí jednoho čipu samotné čidlo i s obslužným elektrickým obvodem.

Termoelektrické senzory využívají Seebeckův jev. Jedná se o jev, při kterém se přeměňuje tepelná energie na elektrickou. Termočlánek je složen ze dvou materiálů, různých vodičů a polovodičů, které jsou na konci spojené.

4.1.2 Snímače vlhkosti

Nejčastěji se využívají senzory kapacitní, odporové nebo polovodičové využívající změny vlastností materiálu v závislosti na absorpci vody z vodní páry.[14]

Kapacitní senzory využívají jako dielektrikum polymery, které v závislosti na absorpci vody způsobuje změnu kapacity kondenzátoru. Hodnota kapacity je pak závislá na relativní vlhkosti. Pro snazší zpracování naměřených hodnot se často setkáváme se senzory vybavené zabudovaným digitálním rozhraním. Kapacitní senzory se vyznačují příznivou dobou odezvy, jsou odolné vůči kondenzaci a mají závislost na teplotě.

Odporové senzory vlhkosti využívají změnu vodivosti na množství absorbované vody v materiálu. Používá se např. polyvinylalkohol s příměsí chloridu či bromidu

lithného. Nevýhodou těchto čidel je nízký rozsah měření a citlivost na orosení. Výhodou je přesnost a stabilita.

4.1.3 Snímače osvětlení

Osvětlení můžeme měřit buď pomocí fotorezistoru, kde dopadající světlo na senzor ovlivňuje odpor snímače, či pomocí snímačů využívající polovodičový přechod PN. U snímačů využívající polovodičový přechod rozeznáváme 3 druhy. Jde o solární články [15], fotodiody a fototranzistory. Solární články pracují jako zdroj napětí závislý na intenzitě osvětlení. Fotodiody mohou pracovat v několika režimech, avšak nejčastěji se využívá režim řízeného napětíového zdroje, v tomto režimu je výstupní napětí fotodiody lineárně závislé na dopadajícím záření. Fototranzistory se využívají v režimu řízeného zdroje proudu, v tomto případě nám energie dopadajících fotonů nahrazuje bázový proud, který je obvyklý u unipolárních tranzistorů. Oproti fotodiodám mají fototranzistory menší spektrální šířku pásma a menší snímací úhel.

4.1.4 Snímače plynů

Pro snímání koncentrace CO_2 se využívají dva způsoby [16] :

- Metal Oxide Semiconductors (MOS) – někdy také označované jako Solid State, Taguchi (podle svého objevitele) či VOC (Volatile-Organic-Compound)
- Infračervené snímače NDIR (Nondispersive Infrared)

Snímače MOS obsahují oxidy kovů, které reagují na změnu koncentrace plynů změnou vodivosti polovodičové vrstvy vyhřívané na určitou teplotu. Nevýhodou těchto snímačů je nízká selektivita, snímače jsou sice nastaveny na konkrétní plyn, ale další druhy plynů je také ovlivňují, je tedy obtížné rozumné vyhodnocování dat ze snímače a spotřeba vyhřívacího elementu, výhodou je však nižší cena v porovnání s NDIR snímači.

Snímače NDIR pracují na principu měření útlumu infračerveného záření ve vzduchu [17]. Čidlo se skládá ze zdroje infračerveného záření, světlovodné trubice a infračerveného detektoru s příslušným filtrem. Signál z detektoru si za pomoci další elektroniky vyhodnotí útlum záření, který je způsoben oxidem uhličitým a díky tomuto můžeme stanovit aktuální koncentrace CO_2 ve vzduchu. Tyto čidla jsou přesnější, mají větší dlouhodobou stabilitu a měří již od nízké koncentrace. Nevýhodou je však vyšší cena.

5 NÁVRH JEDNOTKY PRO MONITOROVÁNÍ KLIMATICKÝCH PODMÍNEK PŘI CHOVU JEDLÉHO HMYZU

Před samotným návrhem zařízení je vhodné prozkoumat trh, zjistit jaké jsou dostupná komerční řešení a jejich parametry, aby bylo možné z těchto parametrů vycházet dál, při návrhu zařízení.

5.1 Komerčně dostupné dataloggery

Na trhu je mnoho dataloggerů umožňující zaznamenávání teploty, tyto nejjednodušší typy je možné pořídit již za částku od 1 500 Kč, jedná se například o typ UT330 USB od firmy UNI-T, měří s přesností $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ [18], umožňuje uložit 60000 hodnot měření. Dražší typy již umožňují zaznamenávat i vlhkost a tlak, např. typ UT330C od stejné firmy za částku 2 500 Kč [19]. Typy umožňující zaznamenávání koncentrace CO_2 se poté pohybují kolem hranice 5 000 Kč. Ale v případě potřeby zaznamenávání intenzity osvětlení a koncentrace amoniaku není takřka žádný přístroj, který by tyto snímače měl zabudované a musíme hledat datalogger s externě připojenými senzory dle naší potřeby, mohlo by jít například o zařízení DL200X od firmy Trotec [20] které umožňuje připojení šest externích senzorů a je vybaven pamětí na 3,2 milionu hodnot za cenu téměř 14 000 Kč, k této ceně se musí přičíst i ceny externích senzorů, celková cena poté přesáhne 20 000 Kč.

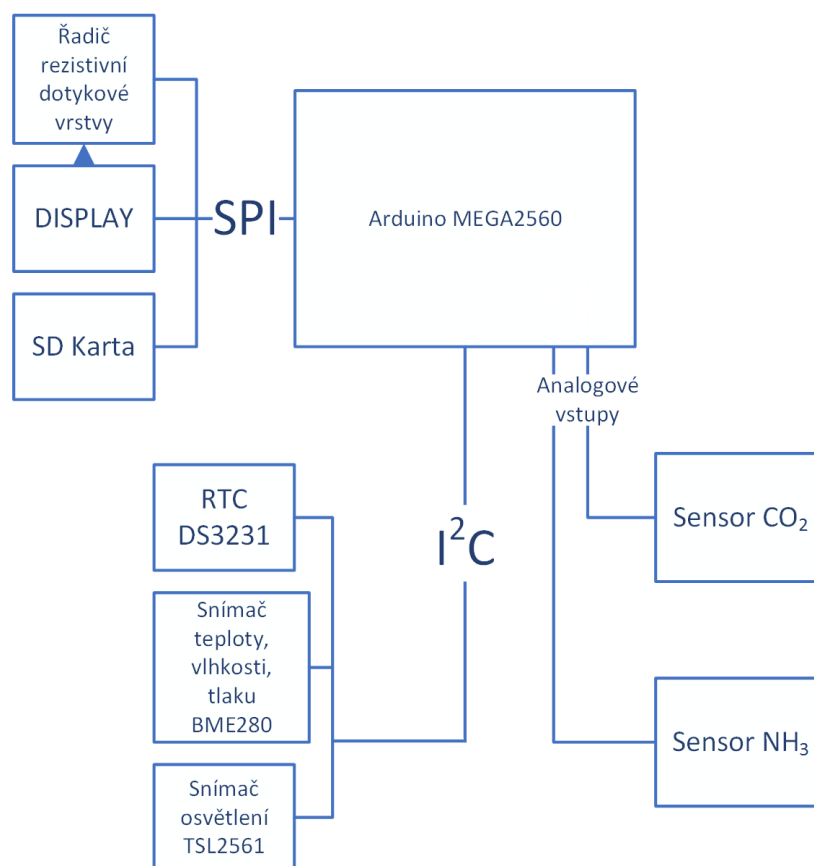
5.2 Požadavky návrhu

Návrh jednotky podléhá požadavkům, které ovlivňují jednotlivé komponenty sestavy. Jednotka si kladla splnit níže uvedená kritéria.

- Dostatečná přesnost měřených veličin
- Jednoduchá obsluha
- Dostatečná paměť pro měřené hodnoty
- Možnost dalšího zpracování měřených hodnot
- Příznivá výrobní cena

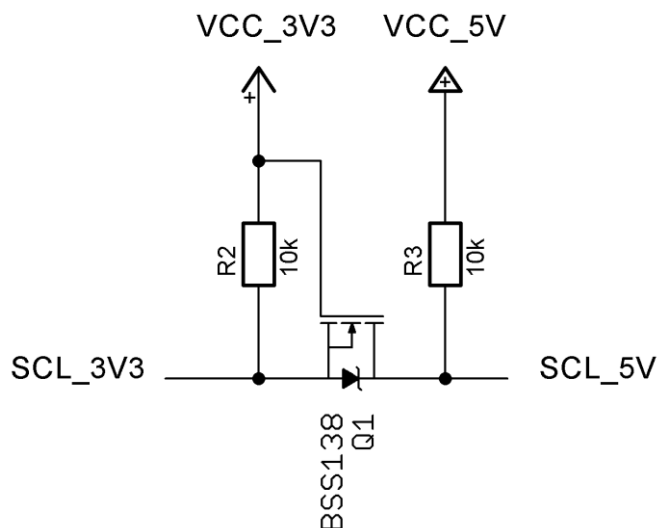
5.3 Blokové schéma zařízení

Upořádání hlavních částí zařízení je znázorněno v blokovém schématu na Obr. 5. Jednotka využívá mikroprocesoru ATmega 2560 obsaženého ve vývojovém kitu Arduino Mega. K procesoru je pomocí sběrnice SPI připojena paměťová karta sloužící pro záznam naměřených hodnot, a dotykový display pro ovládání a zobrazení stavu zařízení. Senzory a obvod reálného času jsou připojeny pomocí sběrnice I²C. Plynové senzory jsou připojeny k procesoru na vstup AD převodníku.



Obr. 5 Blokové schéma jednotky

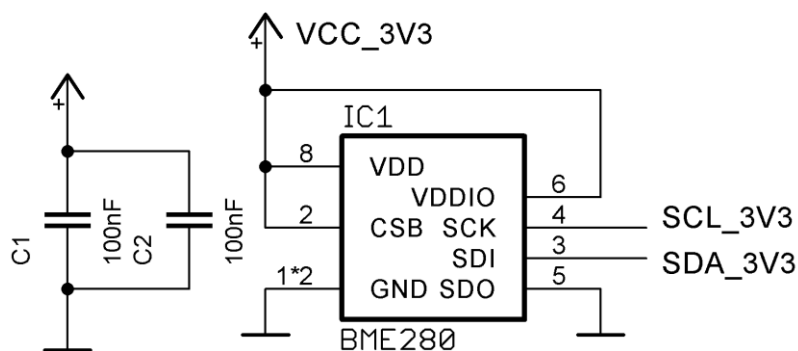
Všechna zařízení na sběrnici I²C a SPI využívají napěťovou logiku 3,3 V, ale vývojový kit Arduino MEGA využívá napěťovou logiku 5 V. Z tohoto důvodu je nutné použít převodník logických úrovní. Zapojení z Obr. 6 se využije pro sběrnici I²C, tento typ převodníku umožňuje obousměrnou komunikaci, kterou pro sběrnici I²C potřebujeme. Pro sběrnici SPI je využit jako převodník úrovní integrovaný obvod HC4050.



Obr. 6 Převodník logických úrovní - 1 kanál

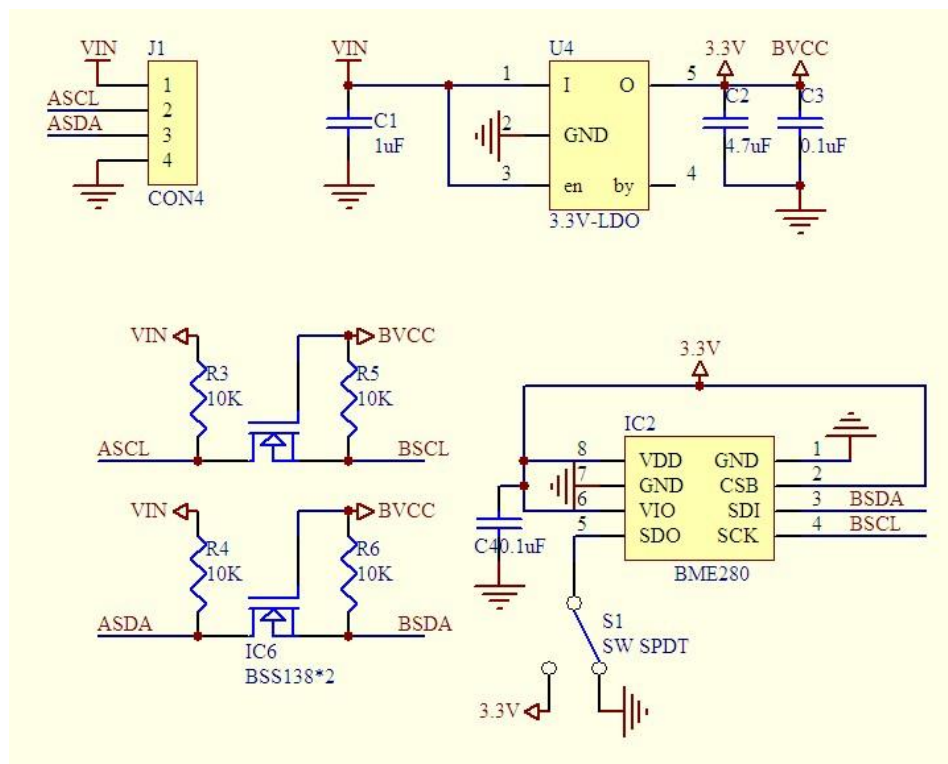
5.4 Senzor teploty a vlhkosti Bosch BME280

Po průzkumu trhu, a srovnání dostupných senzorů bylo zvoleno čidlo BME280 [21] od firmy Bosch. Jde o snímač teploty, vlhkosti a tlaku. Dosahuje přesnosti měření teploty $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a při měření vlhkosti $\pm 3\%$ RH. Je vybaveno sběrnicemi I²C a SPI. Napájecí napětí se může pohybovat v rozmezí 1,7 až 3,6 V, spotřeba se pohybuje v jednotkách μA . Lze jej provozovat v rozsahu teplot -40°C až 85°C , rozsah měřené vlhkosti se může pohybovat v rozmezí 0 až 100 % vzdušné vlhkosti. Rozlišovací schopnost senzoru je $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0,008\%$ vzdušné vlhkosti. Senzor je připojen pomocí sběrnice I²C. Zapojení senzoru je patrné z Obr. 7.



Obr. 7 Doporučené zapojení senzoru BME280

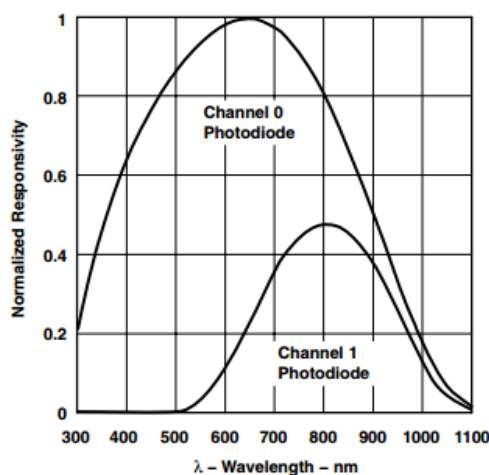
Vzhledem k tomu, že modul dostupný ze zahraničí je levnější než samotný senzor v Česku, bylo přistoupeno k využití modulu GY-BME280 s již osazeným senzorem BME280 a dalšími nezbytnými součástkami, viz schéma Obr. 8. Tento modul se dá v zahraničí pořídit již od 100 Kč.



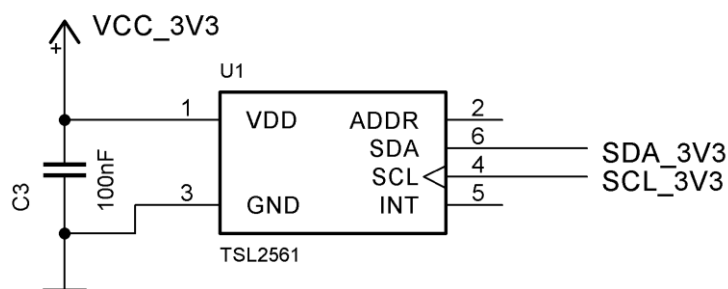
Obr. 8 Zapojení modulu GY-BME280 [22]

5.5 Měření osvětlení pomocí TAOS TSL2561

Intenzita osvětlení je snímána senzorem TSL2561 [23] od firmy TAOS. Jde o pokročilý snímač osvětlení, díky nastavitelnému zesílení a proměnné integrační době může měřit intenzitu osvětlení v rozsahu 0,1 až 40000 lx. Obsahuje dvě snímací diody, jednu infračervenou a druhou širokospektrální, viz Obr. 9. Pomocí těchto fotodiód lze měřit infračervené spektrum, celé světelné spektrum nebo spektrum lidského oka. Snímač je vybaven digitální sběrnici I²C, zapojení je patrné z Obr. 10.

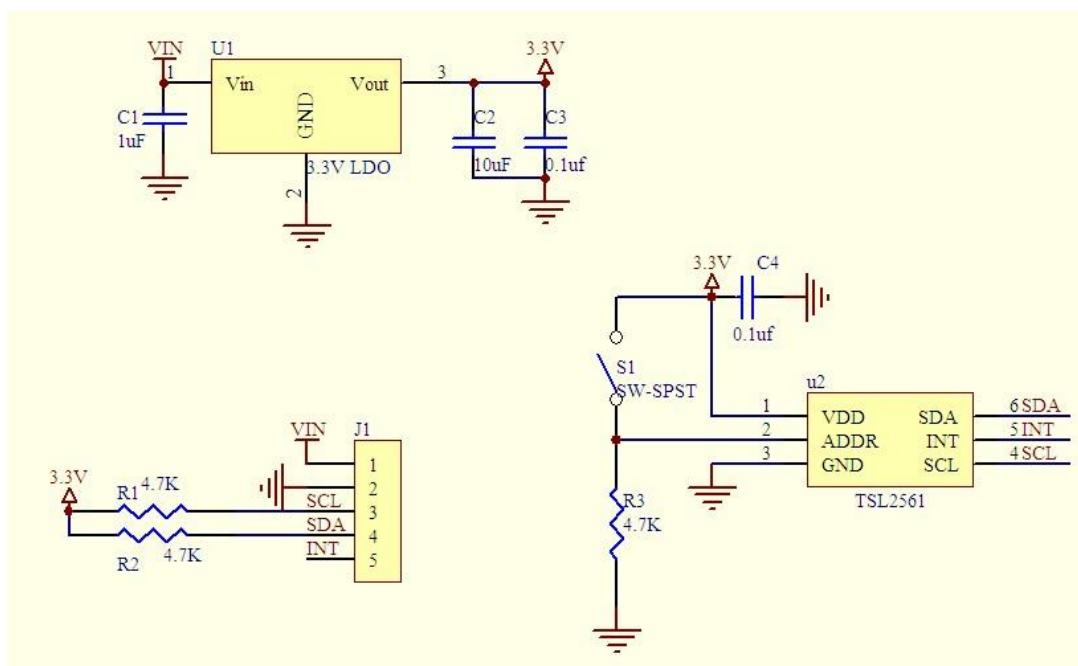


Obr. 9 Spektrální odezva fotodiód použitých ve snímači TSL2561 převzaté z [23]



Obr. 10 Doporučené zapojení obvodu TSL2561

Také u této součástky je celý modul, dostupný ze zahraničí levnější než samotný senzor v Česku, proto bylo přistoupeno k jeho využití. Modul je dostupný u zahraničních prodejců pod označením TSL2561 Luminosity Sensor Breakout za cenu přibližně 40 Kč, schéma modulu je na Obr. 10.



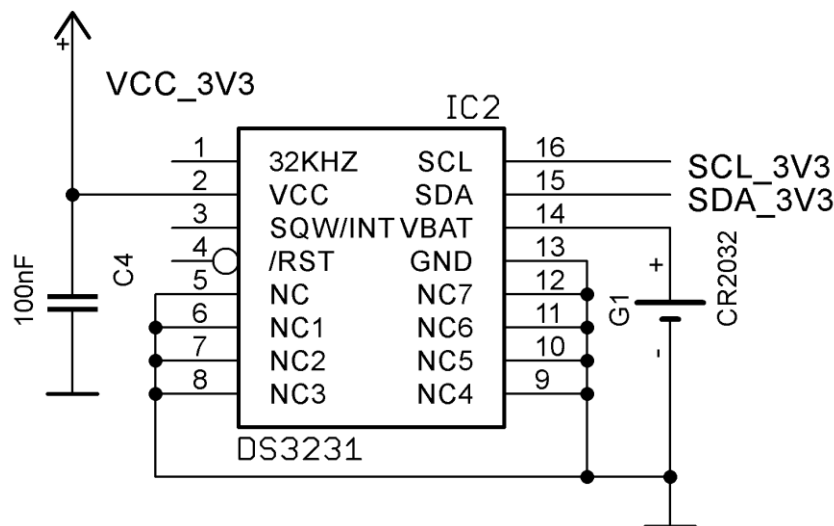
Obr. 11 Zapojení modulu TSL2561 [24]

5.6 Obvod reálného času DS3231

RTC (Real Time Clock) slouží k udržování času a data. Nejčastěji se jedná o integrovaný obvod připojený k mikroprocesoru [25]. Využívá dvojího napájení, přímo ze zařízení a napájení ze záložní baterie. Při napájení ze záložní baterie nelze s obvodem komunikovat, pouze inkrementuje hodnotu času. Díky tomuto je spotřeba obvodu při napájení z baterie velmi malá a baterie vydrží zálohovat čas i několik let. Při komunikaci s mikroprocesorem se nejčastěji využívá sběrnice I²C.

Byl vybrán obvod DS3231 [26] od firmy Dallas. Jde o velmi přesný obvod RTC vybavený sběrnici I²C, díky integrovanému teplotně kompenzovanému krystalu je

přesnost v rozsahu teplot $0\text{ }^{\circ}\text{C} - 40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ ppm}$ (nepřesnost cca. 2 minuty za rok). Jelikož je krystal uvnitř pouzdra obvodu také nepotřebuje žádné další externí součástky kromě zálohovací baterie a pull-up rezistorů pro sběrnici I²C. Zapojení obvodu je patrné z Obr. 10. Obvod je vybaven kalendářem do roku 2100, má dva programovatelné alarmy s možností vyvolání přerušení a výstup obdélníkového signálu. Obvod je dodáván v pouzdře SO-16.

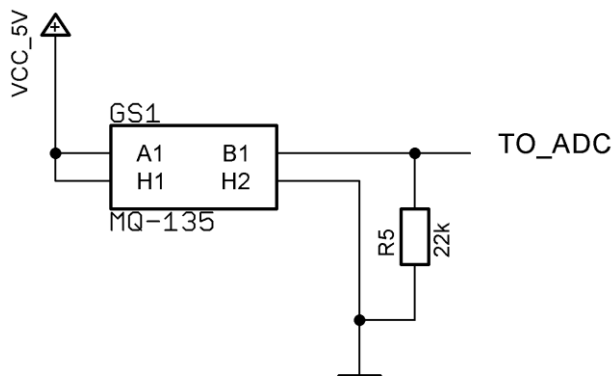


Obr. 12 Zapojení obvodu DS3231

5.7 Plynové senzory

Jako snímač CO₂ a NH₃ byl zvolen senzor MQ-135 [27]. Jde o levný senzor typu MOS. Senzor se dá použít pro měření koncentrace amoniaku, oxidů dusíku, alkoholu, benzenu, kouře a oxidu uhličitého.

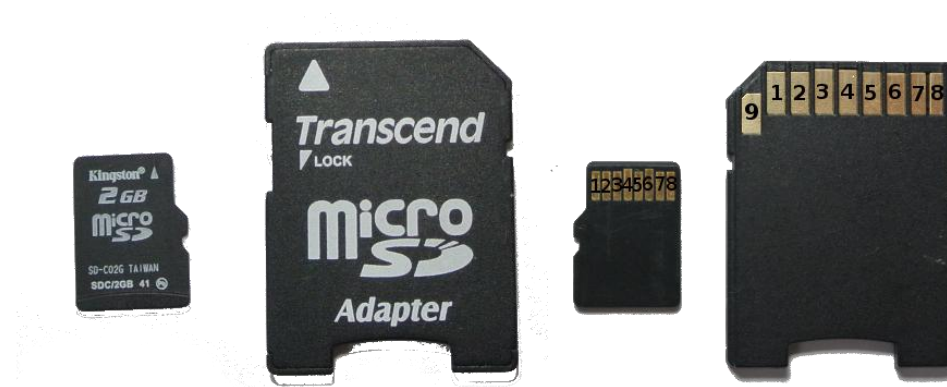
Napětí ze snímače se přivede na A/D převodník Arduina a poté je přepočteno na koncentraci plynu CO₂ a NH₃. Zapojení snímače je patrné z Obr. 11. Jeden senzor bude umístěn na vstupu vzduchu do terária a druhý senzor bude umístěn na výstupu vzduchu z terária.



Obr. 13 Zapojení snímače MQ135

5.8 SD karta

SD karty jsou přenositelné paměti typu FLASH, momentálně patří mezi nejrozšířenější typ paměťových karet. Vyznačují se malými rozměry, relativně jednoduchým fyzickým rozhraním a relativně nízkou spotřebou a jsou levné. Standard SD se také stále vyvíjí a poskytuje větší kapacity s vyššími přenosovými rychlostmi. Standard SD vychází ze staršího MultiMediaCard (MMC), hlavním rozdílem mezi tímto standardem a SD byla možnost kartu uzamknout, což zabráňovalo možnému přepisu dat [28]. Běžně s kartou lze komunikovat pomocí 3 způsobů. Neveřejné specifikace jsou k prvním dvěma tzv. SD režimům, které jsou licencovány ze strany SD asociace, posledním způsobem je komunikace v tzv. SPI režimu. Tento způsob je volně dostupný a lze jej i relativně jednoduše využívat na mikroprocesorech Atmel využitím již napsaných knihoven, je nutno propojit paměťovou kartu a procesor dle Tab. 2. SD karta má velikost 32 x 24 mm, avšak v poslední době stále rozšiřující miniaturizace se často setkáme i s velikostí micro SD (11 mm x 15 mm) kterou lze pomocí redukce zpětně redukovat na velikost SD.



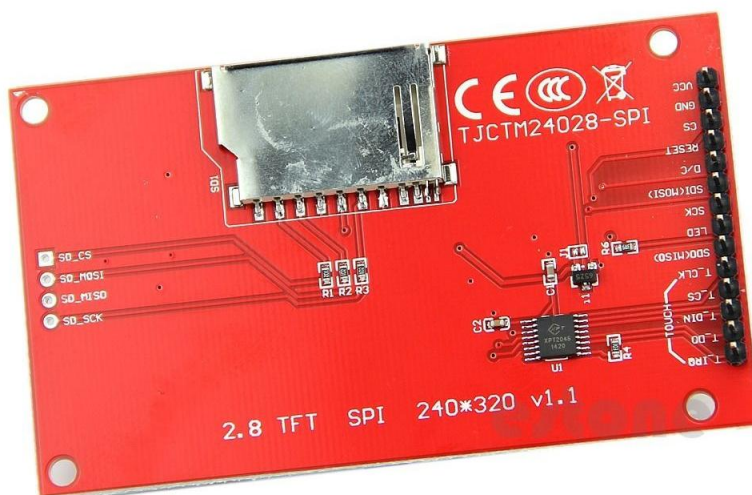
Obr. 14 Označení pinů SD a microSD karty

Tab. 2 Popis zapojení micro SD karty pro komunikaci v SPI režimu [29]

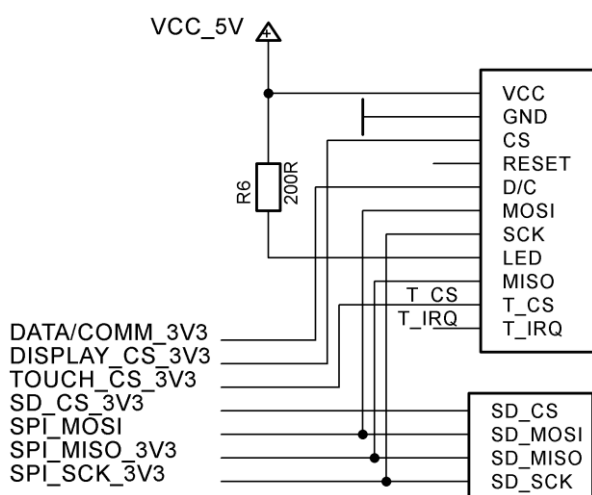
Pin	micro SD karta	SPI	Popis
1	CD/DATA3	ChipSelect	
2	CMD	MOSI	Datový vstup
3	GND	GND	Zem
4	VDD	VDD	Napájení 3,3V
5	CLK	SCK	Hodiny
6	VSS2	GND	Zem
7	DAT0	MISO	Datový výstup
8	DAT1	Nevyužito	
9	DAT2	Nevyužito	

5.9 Dotykový displej

Pro zobrazení stavu zařízení a měřených hodnot je využit LCD panel TJCTM24028-SPI. Jedná se o barevný displej s rezistivní dotykovou vrstvou o velikosti 2,8 " (úhlopříčka cca 7cm) s rozlišením 240 x 320 obrazových bodů který je schopen zobrazit 262 tisíc barev. Využívá řadič ILI9341 od firmy ILITEK. Jako řadič rezistivní dotykové vrstvy je využit integrovaný obvod XPT2046 od firmy Xptek. Na desce displeje se nachází i konektor SD karty zapojený v SPI módu viz Obr. 12. Displej, řadič dotykové vrstvy a SD karta využívá rozhraní SPI. Protože se jedná o display s logikou 3,3 V, je nutné využít převodníky logických úrovní podobně jako u sběrnice I²C, aby mohl být tento modul připojen k mikroprocesoru. Připojení je patrné z Obr. 13.



Obr. 15 Zadní strana displeje



Obr. 16 Připojení modulu displeje

5.10 Popis konstrukce

Po zapnutí zařízení se zobrazí hlavní obrazovka, kde jsou zobrazeny měřené údaje.

V horní části displeje se zobrazuje aktuální datum a čas. Pomocí stisku tlačítek zobrazených na displeji můžeme poté nastavit jednotlivé parametry jako čas a datum, nastavení, zda se mají měřená data ukládat na paměťovou kartu a posílat pomocí sériové linky.

Celé zařízení je tvořeno ze dvou, resp. třech částí viz Obr. 17. Z principu použitých plynových senzorů, které se vyhřívají na vysoké teploty, bylo nutné oddělit plynové senzory od teplotního senzoru, aby nedocházelo k ovlivňování měřené teploty, proto je sensorová deska rozdělená na dvě menší DPS, a bude vhodné je umístit co nejdále od sebe. Jedna deska obsahuje senzor BME280 a TSL2561, jde o senzory teploty vlhkosti a intenzity osvětlení. DPS se senzory teploty, vlhkosti a osvětlení jsou k hlavní desce připojeny pomocí svazku vodičů. Druhou částí je poté DPS obsahující plynové senzory MQ-135, která je krátkým kabelem připojena do hlavní desky.

Třetí částí je násuvná deska na vývojový kit Arduino Mega. Na této desce jsou umístěny potřebné převodníky logických úrovní, stabilizátor napětí, obvod reálného času a dotykový displej. Celé zařízení je napájeno pomocí USB konektoru obsaženého na vývojovém kitu Arduino Mega, odběr zařízení nepřesahuje 500mA.

Všechny desky plošných spojů byly navrženy pomocí softwaru EAGLE. Desky plošných byly vyrobeny pomocí služby plosnaky.cz, desky senzorů jsou realizovány jako jednostranné na materiálu FR-4, řídicí deska je oboustranná na materiálu FR-4, výrobní podklady jsou v přílohách. Cena všech součástek potřebných pro stavbu přístroje nepřesahuje 1 000 Kč. Přesnost měření je daná použitými senzory. Bylo provedeno krátké testování zařízení při chovu hmyzu, senzory byly zabudovány do plastového boxu, a zařízení připevněno na víko tohoto boxu.



Obr. 17 Řídicí jednotka se senzory

Po zapnutí přístroje dochází k inicializaci všech potřebných proměnných a periférií. Poté program vstoupí do nekonečné smyčky, kde se porovná, jestli už uplynul zadaný čas od posledního měření. V případě že již uplynul nastavený čas, zavolá se funkce *getData()*. V této funkci se postupně zpracují data ze všech senzorů, ty se poté zpracují do řetězce *measData*, kde jsou jednotlivé hodnoty od sebe oddělené středníkem.

Následně je zjištěno, zda je zapnuto posílání dat sériovou linkou, v případě že ano, zavolá se funkce *dataToSerial()*, tato funkce odešle řetězec *measData* sériovou linkou přístupnou přes USB konektor. Po odeslání dat či v případě vypnutého logování pomocí sériové linky se přeskočí funkce *dataToSerial()* a ověřuje se, zdali je zapnuté logování na paměťovou kartu. Jestliže ano, volá se funkce *dataToSD*. Po zapsání naměřených hodnot do souboru na paměťové kartě, či v případě vypnutého záznamu na SD kartu se pokračuje k obsluze displeje.

Ve funkci *drawDisplay()* se podle proměnné *currentPage* rozhoduje na jaké obrazovce se momentálně nacházíme a vykreslí se podle toho odpovídající obrazovka, následně se zavolá funkce *getTouch()*, kde se zjišťuje, zda byl zaznamenán dotyk, v případě že byly souřadnice zaznamenány, porovnávají se s tlačítky na právě zobrazené obrazovce, a provede se akce odpovídající zmáčknutému tlačítku.

Pro obsluhu SD karty a souborového systému FAT32 je využita standardně dodávaná knihovna z vývojového prostředí Arduino. Pro obsluhu displeje je využita knihovna od Marka Buriaka šířená pod MIT licenci dostupná z [30]. Obsluha senzorů Bosch BME280 a Taos TSL2561 je řešena pomocí knihoven od f. Sparkfun dostupné pod licenci opensource dostupné z [31] a [32]. Obvod reálného času využívá knihovnu *uRTCLib* od vývojáře Naquissa dostupná z [33] pod licenci GNU GPL.

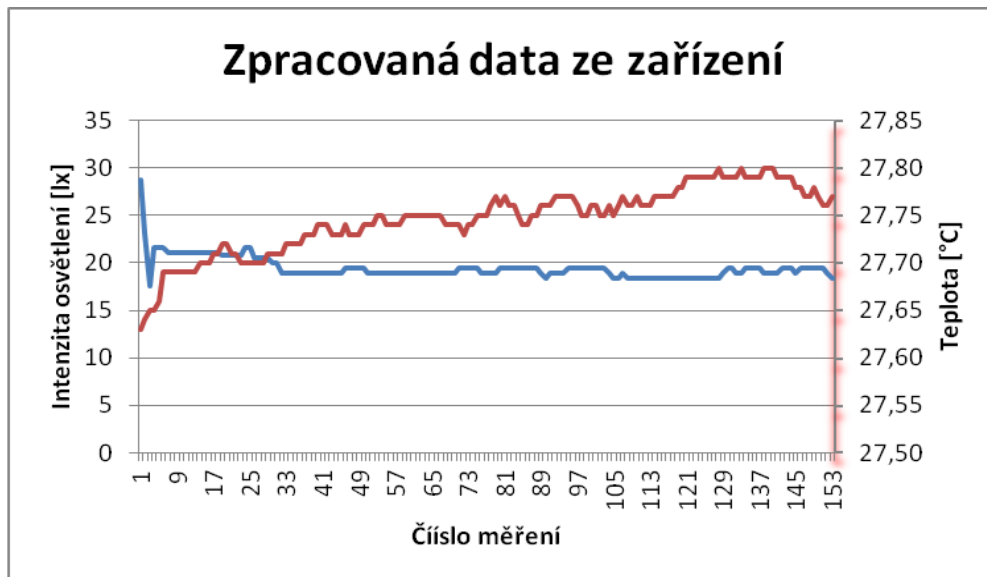
6.2 Zpracování naměřených dat

Řídící jednotka ukládá naměřená data na paměťovou kartu do textového souboru, druhým způsob, jak získat naměřená data je pomocí sériové linky, která je přístupná pomocí konektoru USB na vývojovém kitu Arduino Mega na kterou jsou aktuálně změřená data posílána. První způsob má výhodu, že k ukládání naměřených dat stačí samotné zařízení, které má relativně malou spotřebu oproti běžícímu PC a pro zpracování dat stačí vypnout zařízení, vyjmout z něj paměťovou kartu a tu vložit do PC. Na paměťové kartě jsou naměřená data ukládána do souboru s názvem *DATALOG* ve formátu *txt*. Tento soubor lze nainportovat do libovolného tabulkového procesoru (Microsoft Excel, OpenOffice Calc atd.) kde je poté možné naměřená data dále zpracovávat. Jednotlivé hodnoty jsou od sebe odděleny středníkem, po nastavení importu do tabulkového procesoru jsou potom data rozdělena do sloupců. V prvním sloupci souboru se nachází číslo měření, v druhém sloupci datum měření atd. viz Tab. 3.

Tab. 3 Příklad struktury dat v tabulkovém procesoru

Číslo měření	Datum [dd/mm/rr]	Čas [hh:mm:ss]	Teplota [°C]	Vlhkost [%]	Intenzita osvětlení [lx]	Koncentrace CO ₂ [ppm]	Koncentrace NH ₃ [ppm]
1	22/04/17	16:32:25	24.57	60.44	100.65	440	1

Po naimportování naměřených hodnot do tabulkového procesoru lze již vizualizovat požadovaná data dle potřeb, příklad vizualizace lze vidět na Obr. 19.



Obr. 19 Příklad vizualizace dat v tab. procesoru

Při ukládání měřených hodnot každých 500 ms naměřené hodnoty zaberou za 1 hodinu přibližně 320 kB, při použití 2 GB karty tato karta tedy vystačí na více než 6 měsíců nepřetržitého záznamu.

7 ZÁVĚR

Tato práce se věnuje realizaci levného a jednoduchého zařízení, umožňující měření klimatických podmínek s možností dalšího zpracování naměřených dat. V teoretické části práce se zabývám problematikou monitorování klimatických podmínek při chovu zvířat, problematikou a výhodami jedlého hmyzu. Popisuji mikroprocesory od f. Atmel, jejich vybavení a jejich programování využitím Arduina. Dále jsou popsány principy senzorů, komunikačních sběrnic a rychlé uvedení do problematiky paměťových karet typu SD. Následně se již zabývá volbou periférií a samotnou realizací zařízení. V přílohách jsou výrobní podklady pro desky plošných spojů.

Navržené zařízení umožňuje experimentální měření klimatických podmínek, měřené hodnoty jsou zobrazovány na dotykovém LCD, pomocí kterého probíhá i konfigurace zařízení. Měřené hodnoty jsou pro další zpracování dostupné dvěma způsoby, pomocí sériové linky a také jsou ukládány na paměťovou kartu SD. Způsob využívající paměťovou kartu je výhodný zejména pro svou nezávislost na stolním počítači a také možností uložení velkého množství dat. Kapacita na měřené hodnoty je dána velikostí použité paměťové karty, i při použití pouze 2 GB karty vydrží pro ukládání hodnot v zařízení více než půl roku. Pozdější zpracování změřených dat je možné např. v tabulkovém procesoru Microsoft Excel.

Jednotka pracuje s přesností $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ při měření teploty, $\pm 3\text{ }\%$ RH při měření vlhkosti. Při měření osvětlení a koncentrace plynů je přesnost neznámá, jelikož nebyla provedena kalibrace senzorů. Zejména co se týče měření koncentrace plynů, nebyla volba senzorů MQ-135 vhodná a bylo by vhodné použít lepší senzory, které jsou kalibrovány z výroby a také mají autokalibraci vzhledem ke stárnutí citlivé vrstvy. Použití těchto senzorů by však několikanásobně zdražilo celé zařízení vzhledem k tomu, že tyto senzory pro oxid uhličitý stojí od tisíce korun českých výš, a pro snímání amoniaku ceny senzorů začínají na desítkách tisíc korun českých. Do budoucna by také bylo vhodné upravit grafické rozhraní zařízení zajišťující větší přehlednost a vytvořit aplikaci umožňující jednodušší zpracování naměřených dat na počítači.

LITERATURA

- [1] CHLOUPEK, Jan a Pavel SUCHÝ. *Mikroklimatická měření ve stájích pro hospodářská zvířata* [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/mikroklima/mikroklima.pdf>
- [2] Entomophagy (Eating insects). *Center for Invasive Species Research* [online]. Riverside [cit. 2016-012-01]. Dostupné z: <http://cistr.ucr.edu/entomophagy.html>
- [3] ŠKRABALOVÁ, Blanka. MOUČNÍ ČERVI. In: *JAK NA HMYZ* [online]. 2009 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: http://www.jaknahmyz.cz/moucni_cervi
- [4] HUIS, Arnold van. *Edible insects: future prospects for food and feed security*. Rome, 2013. FAO forestry paper, 171. ISBN 978-92-5-107596-8.
- [5] KREJČÍ, Vratislav. CHOV POTEVNÍKA MOUČNÉHO. In: *Arachnomania* [online]. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://www.arachnomania.cz/Clanky/Tenebrio%20molitor.php>
- [6] *Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V: DATASHEET* [online]. San Jose, CA: Atmel, 2014 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf
- [7] Příspěvatelé Wikipedie, Arduino [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2016, Datum poslední revize 8. 10. 2016, 04:48 UTC, [citováno 30. 11. 2016] <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Arduino&oldid=14185250>>
- [8] By Arduino-uno-perspective.jpg: Creative Tools derivative work: JotaCartas (Arduino-uno-perspective.jpg) [CC BY 2.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>)], via Wikimedia [citováno 30.11.2016] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Arduino-uno-perspective-whitw.jpg>
- [9] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Externí sériové sběrnice SPI a I²C. In: *Root* [online]. 2008 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/>
- [10] History of the I2C Bus. *Embedded Systems Academy* [online]. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://www.esacademy.com/en/library/technical-articles-and-documents/miscellaneous/i2c-bus/general-introduction/history-of-the-i2c-bus.html>
- [11] I2C Background. In: *Total Phase* [online]. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://www.totalphase.com/support/articles/200349156-I2C-Background>
- [12] OLEJÁR, Martin. Stručný popis sběrnice I2C a její praktické využití k připojení externí eeprom 24LC256 k mikrokontroléru PIC16F877. In: *Hw.cz: vše o elektronice a automatizaci* [online]. 2000 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/strucny-popis-sbernice-i2c-a-jeji-prakticke-vyuziti-k-pripojeni-externi-eeprom-24lc256>
- [13] HRUŠKA, František. *Senzory: Fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití* [online]. Vyd. 2. Zlín: UTB ve Zlíně, 2011 [cit. 2016-12-13]. ISBN 978-80-7454-096-7. Dostupné z: www.utb.cz/file/15534_1_1/
- [14] ĎAŘO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-010-2057-6.
- [15] URBAN, František; MIKEL, Břetislav. *Optoelektronika a optické komunikace : skripta*. Brno : Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, 2003. 223 s.
- [16] MAJCE, Michal. Snímače koncentrace oxidu uhličitého pro průmysl a

- vzduchotechniku. *Automa* [online]. 2008, **2008**(11), 22-23 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: http://www.topinstruments.cz/user-files/publikacni-cinnost/automa_co2.pdf
- [17] Na jakých principech fungují čidla kvality vzduchu? *Protronix* [online]. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <http://www.careforair.eu/na-jakych-principech-funguji-cidla-kvality-vzduchu/>
- [18] Teplotní datalogger UNI-T UT330A USB. *SVĚTSoučástek.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://www.svetsoucastek.cz/datalogger-teploty-uni-t-ut330a-usb-p62786/>
- [19] Datalogger teploty, vlhkosti a tlaku UNI-T UT330C USB. *SVĚTSoučástek.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://www.svetsoucastek.cz/datalogger-uni-t-ut330c-usb-p62788/>
- [20] Profesionální datalogger DL200X antracit. *Trotec* [online]. 2017 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://www.trotec24.cz/merici-zarizeni/teplota/dataloggery/profesionalni-datalogger-dl200x-antracit.html>
- [21] *BME280: Combined humidity and pressure sensor* [online]. In: . Reutlingen, 2015 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BME280_DS001-10.pdf
- [22] *Modul BME280* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1LnM.JFXXXXbAXFXXq6xXFXXXC/10pcs-DC1-8-5V-I2C-BME280-Digital-Barometric-Pressure-Altitude-Sensor-Temperature-Humidity-Module-for-Arduino.jpg>
- [23] *TSL2560, TSL2561: LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER* [online]. In: . Plano, TX, 2009 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf>
- [24] CHIOSZ ROBOTS. *Modul TSL2561* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://chioszrobots.files.wordpress.com/2015/06/light-sensor-tsl2561-chiosz-robots-1.jpg>
- [25] Real-time clock. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_clock
- [26] DS3231: Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal. In: *Maxim Integrated* [online]. 2015 [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- [27] MQ-135 GAS SENSOR: TECHNICAL DATA. In: *Olimex* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>
- [28] Secure Digital. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital
- [29] SD MicroSD Card pinout. *Electronic Circuits Design* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://www.electroniccircuitsdesign.com/pinout/sd-microsd-card-pinout.html>
- [30] *ILI9341_due: Arduino Due library for interfacing with ILI9341 SPI TFTs* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: http://marekburiak.github.io/ILI9341_due/
- [31] *SparkFun Bosch BME280 Arduino Library* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: https://github.com/sparkfun/SparkFun_BME280_Arduino_Library
- [32] *SparkFun TSL2561 Arduino Librar: Arduino Library for the SparkFun TSL2561 Luminosity Sensor Breakout Board.* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: https://github.com/sparkfun/SparkFun_TSL2561_Arduino_Library

- [33] Arduino, ESP8266 and STM32 uRTCLib: Really tiny library to basic RTC and EEPROM (incorporated) functionality on Arduino. DS1307 and DS3231 RTCs are supported with AT24C32 EEPROM (and compatibles) [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://github.com/Naguissa/uRTCLib>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

<i>CO₂</i>	<i>Oxid uhličitý</i>
<i>I/O pin</i>	<i>Input/Output pin - Vstupně/Výstupní pin</i>
<i>I²C</i>	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
<i>IDE</i>	<i>Integrated Development Environment - Vývojové prostředí</i>
<i>ISP</i>	<i>In System Programmer</i>
<i>MMC</i>	<i>MultiMediaCard</i>
<i>NH₃</i>	<i>Amoniak</i>
<i>PWM</i>	<i>Pulse Width Modulation – Pulzně šířková modulace</i>
<i>RAM</i>	<i>Random Access Memory – Paměť s náhodným přístupem</i>
<i>RISC</i>	<i>Reduced Instruction Set Computing</i>
<i>RTC</i>	<i>Real-time Clock - hodiny reálného času</i>
<i>SPI</i>	<i>Serial Peripheral Interface</i>
<i>SD</i>	<i>Secure Digital</i>
<i>TWI</i>	<i>Two Wire Interface</i>
<i>UART</i>	<i>Universal Asynchronous Reciever and Transmitter - Asynchronní sériové rozhraní</i>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Arduino Uno převzato z [8]	14
Obr. 2 Arduino IDE	15
Obr. 3 Zapojení SPI sběrnice při zapojení více slave zařízení	17
Obr. 4 Příklad zapojení sběrnice I ² C	18
Obr. 5 Blokové schéma jednotky	22
Obr. 6 Převodník logických úrovní - 1 kanál	23
Obr. 7 Doporučené zapojení senzoru BME280	23
Obr. 8 Zapojení modulu GY-BME280 [22]	24
Obr. 9 Spektrální odezva fotodiod použitých ve snímači TSL2561 převzaté z [23]	24
Obr. 10 Doporučené zapojení obvodu TSL2561	25
Obr. 11 Zapojení modulu TSL2561 [24]	25
Obr. 12 Zapojení obvodu DS3231	26
Obr. 13 Zapojení snímače MQ135	26
Obr. 14 Označení pinů SD a microSD karty	27
Obr. 15 Zadní strana displeje	28
Obr. 16 Připojení modulu displeje	28
Obr. 17 Řídící jednotka se senzory	29
Obr. 18 Vývojový diagram programu	30
Obr. 19 Příklad vizualizace dat v tab. procesoru	32

SEZNAM TABULEK

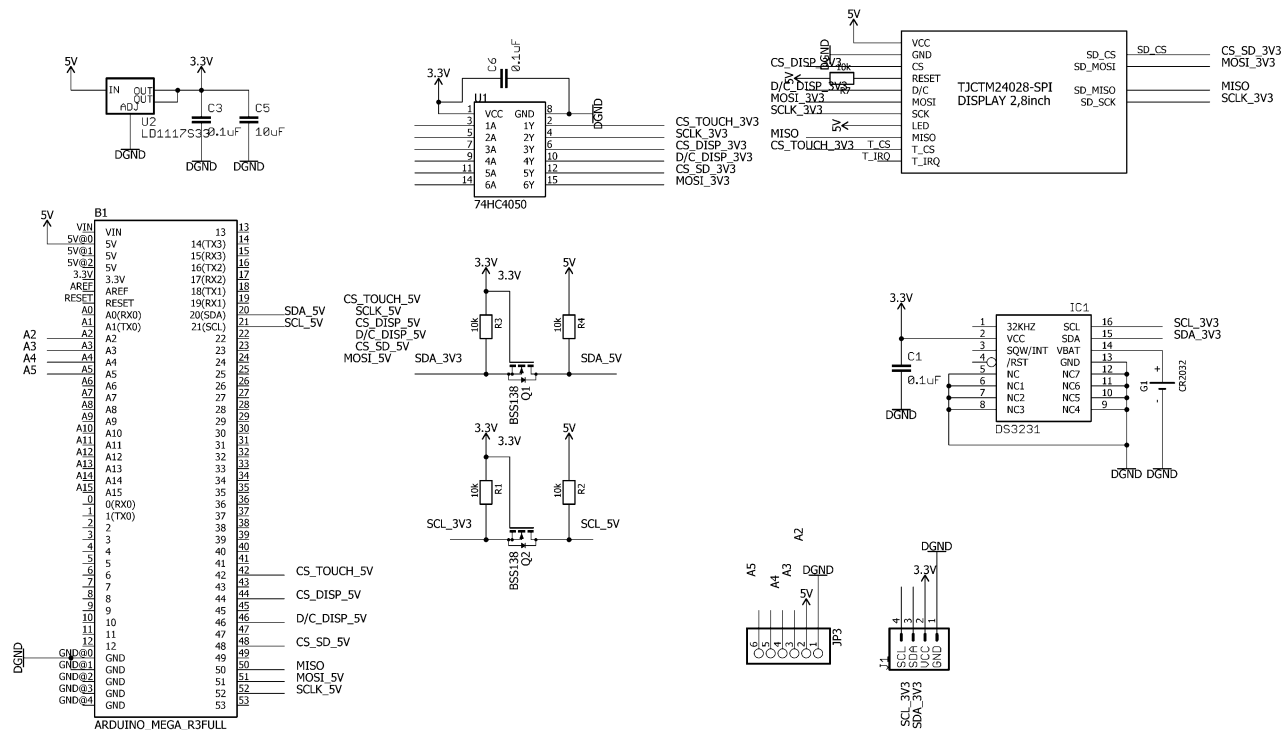
Tab. 1 Porovnání typů desek Arduino	15
Tab. 2 Popis zapojení micro SD karty pro komunikaci v SPI režimu [29]	27
Tab. 3 Příklad struktury dat v tabulkovém procesoru.....	31

SEZNAM PŘÍLOH

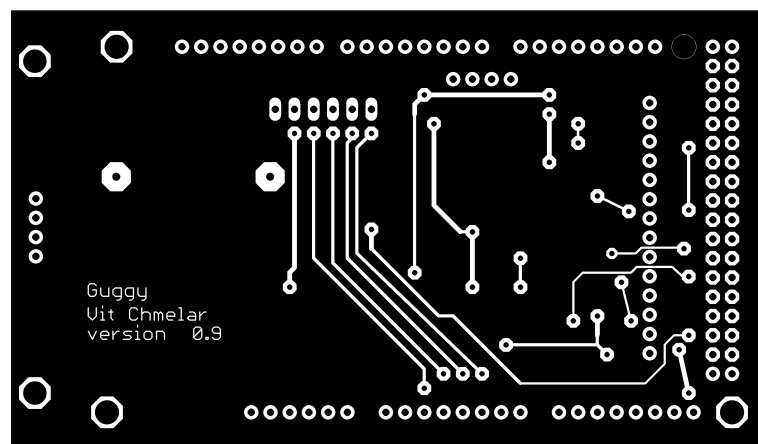
A	Návrh zařízení	41
A.1	Obvodové zapojení řídicího modulu.....	41
A.2	Deska plošného spoje řídicího modulu – top (strana součástek)	41
A.3	Deska plošného spoje řídicího modulu – bottom (strana spojů).....	42
A.4	Osazovací plán desky řídicího modulu	42
A.5	Obvodové zapojení sensorového modulu teploty, vlhkosti a osvětlení..	43
A.6	Deska plošného spoje sensorového modulu teploty, vlhkosti a osvětlení – bottom (strana spojů)	43
A.7	Obvodové zapojení sensorového modulu plynů.....	43
A.8	Deska plošného spoje sensorového modulu plynů – bottom (strana spojů) 44	
A.9	Osazovací plán sensorového modulu plynů	44
B	Seznam součástek	45

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení řídicího modulu

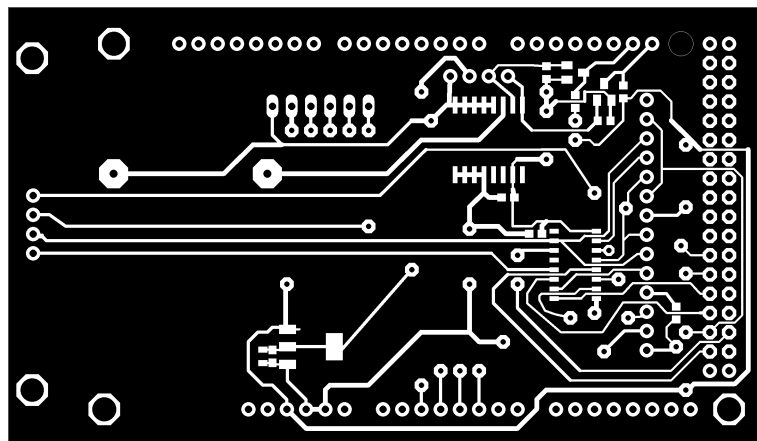


A.2 Deska plošného spoje řídicího modulu – top (strana součástek)



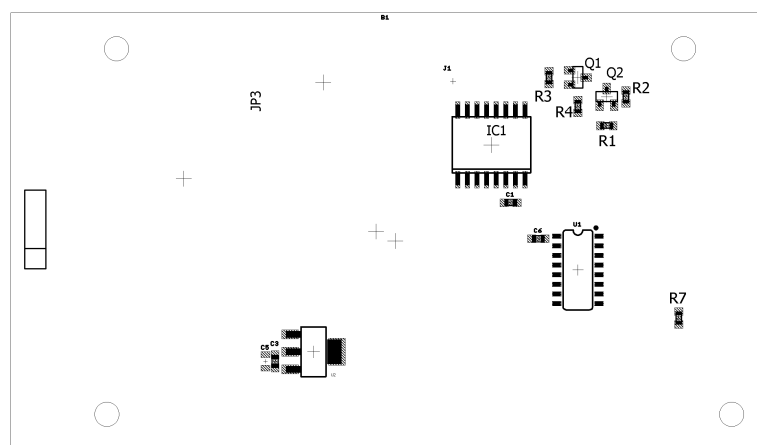
Rozměr desky 100 x 58 [mm], měřítko M1:1

A.3 Deska plošného spoje řídicího modulu – bottom (strana spojů)

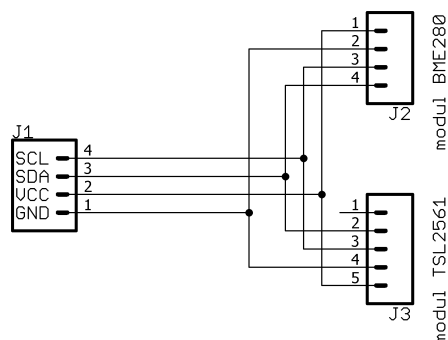


Rozměr desky 100 x 58 [mm], měřítko M1:1

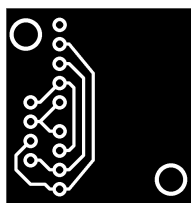
A.4 Osazovací plán desky řídicího modulu



A.5 Obvodové zapojení senzorového modulu teploty, vlhkosti a osvětlení

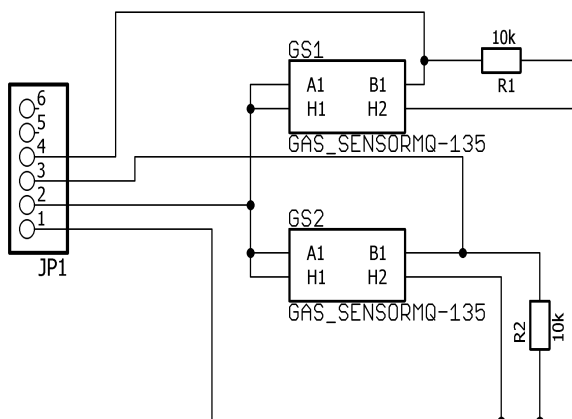


A.6 Deska plošného spoje senzorového modulu teploty, vlhkosti a osvětlení – bottom (strana spojů)

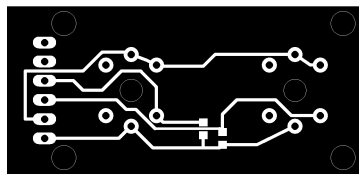


Rozměr desky 25 x 26 [mm], měřítko M1:1

A.7 Obvodové zapojení senzorového modulu plynů

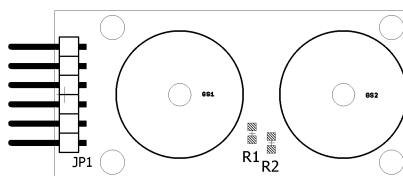


A.8 Deska plošného spoje senzorového modulu plynů – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 47 x 22 [mm], měřítko M1:1

A.9 Osazovací plán senzorového modulu plynů



B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
Součástky na řídicí modul			
U1	74HC4050	S016	6-ti násobný neinvertující buffer
U2	LD1117S33	SOT223	Stabilizátor napětí
B1	Arduino Mega	Arduino Mega	Vývojová deska
IC1	DS3231	SO16W	Obvod reálného času
DISP_1	TJCTM24028-SPI		LCD displej
Q1,Q2	BSS138	SOT23	N-Mosfet
R1-R5	10k	R0603	Rezistor
C1,C3,C6	100nF	C0603	Kondenzátor
C5	10uF	C0805	Kondenzátor
JP3		1X6	Konektor
J1		1x4	Konektor
G1	CR2032	CR2032	Držák baterie
Součástky na senzorový modul teploty, vlhkosti a osvětlení			
JP1,JP2		1x4	Konektor
JP3		1x5	Konektor
Součástky na senzorový modul plynů			
JP1		1x6	Konektor
GS1,GS2	MQ135		Senzor MQ-135
R1,R2	10k	0603	Rezistor